

НАСТАВНО-НАУЧНОМ ВЕЋУ

Предмет: Реферат о урађеној докторској дисертацији кандидата Дамјана Иветића, маг. инж. грађ.

Одлуком Наставно-научног већа Грађевинског факултета Универзитета у Београду бр. 268/10-17 од 28.06.2019. године, именовани смо за чланове Комисије за преглед, оцену и одбрану докторске дисертације кандидата Дамјана Иветића, маг. инж. грађ. под насловом

**ОДРЕЂИВАЊЕ ПРОТОКА ТЕЧНОСТИ У СЛОЖЕНИМ УСЛОВИМА СТРУЈАЊА ПРИМЕНОМ
РАВНИХ ЕЛЕКТРОМАГНЕТНИХ СЕНЗОРА**

Наслов на енглеском језику гласи:

**ASSESSMENT OF THE LIQUID FLOW RATE IN COMPLEX FLOW CONDITIONS WITH FLAT
ELECTROMAGNETIC SENSORS**

После прегледа достављене дисертације и других пратећих материјала и разговора са Кандидатом, Комисија је сачинила следећи

РЕФЕРАТ

1. УВОД

1.1. Хронологија одобравања и израде дисертације

На седници Катедре за хидротехнику и водно еколошко инжењерство одржаној дана 22.06.2017. године, кандидат Дамјан Иветић, маг. инж. грађ. је пред члановима Катедре јавно изложио предлог теме докторске дисертације под насловом „Одређивање протока течности у сложеним условима струјања применом равних електромагнетних сензора“. Након излагања кандидата и давања одговора на постављена питања, Катедра је једногласно донела одлуку да се Приступни рад прихвати и кандидату омогући пријава теме докторске дисертације.

На седници Наставно-научног већа Грађевинског факултета одржаној 29.06.2017. именована је Комисија за писање извештаја о оцени подобности теме и кандидата (одлука 268/2 од 30.06.2017). Позитиван извештај Комисије за пријем теме докторске дисертације усвојен је на седници Наставно-научног већа Грађевинског факултета одржаној 20.09.2017. (одлука 268/4), а за ментора је именован проф. др Душан Продановић, дипл. грађ. инж. са Грађевинског факултета Универзитета у Београду. Веће научних области грађевинско-урбанистичких наука Универзитета у Београду на седници одржаној 28.09.2017. године дало је сагласност на предлог теме докторске дисертације кандидата Дамјана Иветића, маг. инж. грађ. (одлука бр. 61206-3758/2-17 од 28.09.2017.).

Кандидат Дамјан Иветић, маг. инж. грађ., уписао је докторске студије на Грађевинском факултету, Универзитета у Београду, школске 2012./13. године. Одлуком Наставно-научног већа

грађевинског факултета број 22/128-2 од 27.9.2018. године, кандидату је одобрено продужење рока за завршетак докторских студија за период од три године.

1.2. Научна област дисертације

Тема дисертације је из научног поља техничко-технолошких наука. Научна област је Грађевинарство, а ужа научна област је Механика нестишљивих флуида и хидраулика, за коју је матичан Грађевински факултет - Универзитета у Београду. Ментор је проф. др Душан Продановић, дипл. грађ. инж. са Грађевинског факултета Универзитета у Београду. Именовани ментор испуњава важеће критеријуме Универзитета у Београду.

1.2. Биографски подаци о кандидату

Дамјан Иветић је рођен у Београду 24.03.1988. Основну школу „Филип Кљајић Фића“ на Бановом Брду, општина Чукарица, је похађао од првог до шестог разреда, и након паузе, и осми разред заједно са матуrom. Седми разред основне школе је завршио у Ексетеру у Енглеској (покрајина Девон). Након тога похађао је и матурирао у Тринаестој београдској гимназији, природно-математички смер.

Грађевински факултет, Универзитета у Београду, уписује 2007/2008. Основне академске студије је завршио 2011. године на одсеку за хидротехнику и водно еколошко инжењерство са просеком 9,55. За време основних академских студија у школској 2008/2009, на основу оствареног просека, био је корисник универзитетске стипендије. Касније у школским годинама 2009/2010 и 2010/2011, био је корисник стипендије „Фонда за развој научног и уметничког подмлатка“. Након завршених основних академских студија, боравио је на стручној пракси у хидрауличкој лабораторији Квинс Универзитета (енг. Queen’s University in Belfast) у Белфасту, Северној Ирској. Школске 2011/2012 године уписује дипломске академске (мастер) студије на грађевинском факултету, Универзитета у Београду, на одсеку за хидротехнику и водно еколошко инжењерство. Током мастер студија био је корисник стипендије „Фонда за младе таленте“. До звања мастер инжењер грађевинарства долази 2012. године, уз остварен просек на студијама од 10,00.

Школске 2012/2013 године уписује докторске студије на Грађевинском факултету, Универзитета у Београду. На докторским студијама је успешно положио све испите уз остварен просек на студијама од 10,00. Кандидат 01.01.2013. год. заснива радни однос на Грађевинском факултету у звању асистента – студента докторских студија за уже научне области Механика нестишљивих флуида и Хидраулика и Еколошко инжењерство. Ангажован је у реализацији наставе на предметима Механика флуида и Основе еколошког инжењерства, у оквиру основних академских студија. На дипломским академским студијама, ангажован је на предмету Мерења у хидротехници. У досадашњим студентским анкетама о раду наставника и предавача оцењен је високим оценама.

Поред обавеза у настави ангажован је као истраживач на пројекту „Системи за одвођење кишних вода као део урбане и саобраћајне инфраструктуре“ под евиденционим бројем ТР37010 који финансира Министарство просвете, науке и технолошког развоја Републике Србије. Активно учествује и на изради пројектно-техничке документације, које Грађевински факултет реализује преко Института за хидротехнику и водно еколошко инжењерство, поготово из области водоводних и канализационих система, као и пројектовања мерних станица на хидротехничким објектима. Кандидат је успешно завршио обуку за „Заштиту у раду са изворима јонизујућег зрачења“ у организацији института Карајовић, чиме је сертификован за коришћење уређаја са рендгенским и икс-зрацима.

Аутор је и коаутор четири рада у часописима индексираним на SCI листи, као и већег броја радова у домаћим часописима, на међународним и домаћим научним и стручним скуповима. Поседује одлично знање Енглеског језика, како у писању тако и у говору, а служи се и располаже основним знањем руског језика.

2. ОПИС ДИСЕРТАЦИЈЕ

2.1. Садржај дисертације

Докторска дисертација под насловом „Одређивање протока течности у сложеним условима струјања применом равних електромагнетних сензора“ садржи укупно 258 страница, од чега основни текст дисертације заузима 226 страница. Дисертација је написана на српском језику и садржи 7 поглавља:

1. Увод
2. Мерење протока у отвореним токовима
3. Експериментална опрема
4. Лабораторијско испитивање мерне неодређености равних ЕМ сензора
5. Унапређење тачности мерења брзине применом равних ЕМ сензора
6. Теренска испитивања
7. Закључци и препоруке

Дисертација садржи резиме (на енглеском и на српском језику) као и биографију кандидата. Дисертација садржи 100 слика и 3 табеле. Списак литературе има 159 наслова.

Структура дисертације и текст су у потпуности обликовани према важећем Правилнику о докторским студијама на Универзитету у Београду, донетом од стране Сената Универзитета у Београду на седници одржаној 13.04.2016. године, и према посебним упутствима за обликовање штампане и електронске верзије дисертације садржаним у Прилогу 1 Правилника: Облик и садржај докторске дисертације.

2.2. Кратак приказ појединачних поглавља

У уводном поглављу је укратко представљен предмет истраживања, постављен је основни циљ као и задаци истраживања. Одређивање протока у отвореним токовима који повремено долазе и под притисак је сложен и компликован задатак, због чега је неопходно обратити посебну пажњу при избору мерне опреме, као и пројектовању мерног места. Тренутно најпопуларнији сензори, који раде на бази Доплеровог ефекта, поседују изванредан број мана, због чега је основни циљ дисертације испитивање карактеристика алтернативних, равних електромагнетних (ЕМ) сензора као и анализа могућности за унапређене њихове тачности. Уводно поглавље је закључено прегледом садржаја дисертације.

Друго поглавље дисертације садржи преглед референтне литературе. Преглед литературе је подељен у две целине:

- Електромагнетни сензори брзине и протока, и
- Мерење протока у сложеним условима струјања

У оквиру прве целине, представљена је класификација основних типова ЕМ сензора брзине и протока. Фокус дисертације је на локалним ЕМ сензорима брзине, односно на посебном типу равних ЕМ сензора брзине развијеном од стране домаћег произвођача „Свет инструмената“. У наставку је представљен основни математички модел који описује примену Фарадејевог закона

индукције за мерење брзине електро-проводне течности. Затим, детаљније је размотрен процес нелинеарне интеграције струјног поља у оквиру контролне запремине ЕМ сензора, којим се добија излазни сигнал у виду напона. Наведено је да се за описивање концепта нелинеарне интеграције најчешће користе такозване тежинске функције или вектори. Такође, апострофирано је да су истраживања која су се бавила развојем тежинских функција и вектора, углавном везана за цевне ЕМ сензоре. Коначно на крају прве целине представљен је стандардизовани поступак калибрације равних ЕМ сензора, ISO 3455, којим се излазни напон доводи у везу са брзином течења у некој локалној, контролној запремини.

Друга целина прегледа литературе се бави прегледом расположивих приступа за мерење протока течности у сложеним условима струјања. Константовано је да се у оваквим случајевима, најчешће користи метода брзина – протицајни пресек. Посебно су анализиране могућности за одређивање површине протицајног пресека, директно или на основу мерења дубине, а посебно за одређивање средње профилске брзине на основу неке локално измерене брзине. Кључан допринос неодређености протока у методи брзина – протицајни пресек, потиче од неодређености средње профилске брзине. Имајући то у виду, посебна анализа је посвећена, такозваним, корекционим функцијама, којима се дефинише корелација између локално измерене и средње профилске брзине. Као сложени услови струјања који су предмет дисертације, идентификовани су услови који се јављају у канализационим системима, где поред велике варијације протока и присуства агресивних гасова, често може доћи до таложења наноса преко кућишта сензора. Такође, у великим проводницима (хидротехничким тунелима) долази до појаве сложених услова струјања, првенствено у виду неправилне струјне слике. Уочено је да најчешће примењивани Доплер или ултразвучни сензори, поседују извештај број мана које доводе до високе неодређености измерених протока.

Поглавље које се бави прегледом литературе је закључено систематизацијом изведених закључака и дефинисањем главних истраживачких питања. Основни закључак је да, имајући у виду принцип рада равних ЕМ сензора, овај тип уређаја поседује, до сад неистражени потенцијал, за примену у сложеним условима струјања. Недостатак одговарајућих систематских истраживања овог типа уређаја је идентификован као кључни разлог за слабу популарност. Такође, основни математички модел за описивање рада ЕМ сензора је комплексан, што додатно умањује примењивост локалних ЕМ сензора у сложеним условима струјања. Имајући наведено у виду, формирана су основна истраживачка питања која су мотивисала истраживање представљено у дисертацији: 1) Какве радне карактеристике поседују равни ЕМ сензори у погледу тачности и поновљивости, и како се оне могу дефинисати, 2) Да ли су равни ЕМ сензори довољно робусни за примену у канализационим системима, 3) Како се математички може описати рад равних ЕМ сензора, 4) Које су техничке карактеристике меродавне за моделирање радног принципа равних ЕМ сензора, 5) Да ли је могуће експериментално дефинисати меродавне техничке карактеристике равних ЕМ сензора и 6) Како се могу искористити технички параметри са математичким моделом, за унапређење поузданости мерења протока односно дефинисање корекционе функције?.

Треће поглавље је посвећено опису експерименталне опреме коришћене током истраживања представљеног у дисертацији. Посебан фокус је стављен на производе домаћег произвођача „Свет инструмената“: три доступна модела равних ЕМ сензора, као и на локални ЕМ сензор брзине „Ајкулино крило“. Такође, представљене су основне карактеристике штапичастог ADV сензора брзине, коришћеног за мерења брзине у тачки унутар лабораторијског канала. У наставку је описан и магнетометар, коришћен за мапирање магнетног поља равних ЕМ сензора. Коначно, приказане су и основне карактеристике коришћеног лабораторијског канала, као дела затворене лабораторијске инсталације у оквиру хидрауличке лабораторије, Института за хидротехнику и водно еколошко инжењерство.

У оквиру четвртог поглавља приказано је лабораторијско испитивање мерне неодређености брзине измерене у стандардним условима и условима седиментације порозног наноса, са и без

пластичних фолија, преко кућишта равног ЕМ сензора. Коришћењем унапређене верзије методологије за еталонирање мерне неодређености у стандардним лабораторијским условима, омогућено је директно поређење мерне неодређености са резултатима добијеним за Доплер сензоре. Константовано је да су равни ЕМ сензори значајно поновљивији и линеарнији у односу на Доплер сензоре. Такође је уочено да у подацима, измереним помоћу равног ЕМ сензора, постоји одређена систематска неодређеност која је последица неадекватности примене ISO 3455 поступка за фабричку калибрацију ових уређаја. У наставку поглавља су представљени резултати испитивања равних ЕМ сензора у условима рада под покривком од порозног наноса, различитих дубина. Установљено је да присуство седимента утиче на слабљење излазног сигнала, где је интезитет слабљења пропорционалан дубини седимента. За практичне потребе, предложена је експериментална методологија за дефинисање линеарног регресионог модела, помоћу којег је могуће кориговати излазни сигнал на основу измерене дубине седимента. Посебно је испитана могућност рада равних ЕМ сензора у случају да дође до задржавања пластичних кеса изнад кућишта сензора. Установљено је да у овом случају равни ЕМ сензори не поседују капацитет за рад, односно да није могуће систематски кориговати добијени излазни сигнал.

Пето поглавље дисертације је фокусирано на анализу методологије за поузданије дефинисање корелације између локално измерене брзине помоћу равних ЕМ сензора и средње профилске брзине. Први део овог поглавља је посвећен експерименталној анализи магнетног поља равних ЕМ сензора. На основу систематског мапирања као и накнадне обраде, применом алгоритама неуралних мрежа, дефинисан је просторни распоред вектора магнетне индукције. Такође, констатовано је да доминантан допринос излазном сигналу потиче од интеракције вектора брзине течности са попречном Y компонентом магнетног поља. Други део поглавља се бави предлогом упрошћеног математичког модела равних ЕМ сензора. За примену предложеног модела неопходно је дефинисати два техничка параметра сензора: једнодимензионалну тежинску функцију и домет контролне запремине. У тексту је предложена експериментална методологија за дефинисање техничких параметара равних ЕМ сензора. Добијени технички параметри, као и предложени упрошћени математички модел, су верификовани на независном скупу измерених података. Последња целина овог поглавља се бави предлогом опште методологије за локалну калибрацију равних ЕМ сензора. Под локалном калибрацијом се подразумева поступак анализе одзива равних ЕМ сензора у условима карактеристичним за анализирано мерно место. На основу симулације распореда брзине у контролној запремини сензора, применом аналитичких образаца или нумеричких симулација турбулентног течења, уз помоћ упрошћеног математичког модела, могуће је симулирати одзив сензора. На основу односа симулираног одзива сензора и средње профилске брзине, дефинише се тражена корекциона функција за сваки поједини равни ЕМ сензор, у оквиру анализираног мерног места. На овај начин се добија поузданија процена средње профилске брзине, самим тим и протока.

Шесто поглавље се бави практичном применом равних ЕМ сензора и предложене методологије за локалну калибрацију, као и додатним теренским испитивањима. У оквиру деривационих тунела Дабарско поље – Фатничко поље и Фатничко поље – Билећка акумулација, хидроенергетског система „Хидроелектране на Требишњици“, изведена су три мерна места опремљена са по четири велика равна ЕМ сензора. У оквиру сваког мерног места привремено су била постављена и два додатна ЕМ сензора „Ајкулино крило“ чинећи такозвани контролни мерни систем. Посебно је анализирано мерно место у тунелу Дабарско поље – Фатничко поље, где је спроведена верификација поступка локалне калибрације, поређењем измерених резултата добијених помоћу равних ЕМ сензора и сензора „Ајкулино крило“. Константовано је да се поступком локалне калибрације, уз примену привременог контролног мерног система, може умањити неодређеност измереног протока на 3 – 5%. Константовано је да се даље унапређење поузданости може остварити на основу анализе ефеката неустаљености на мерења помоћу равних ЕМ сензора и „Ајкулиног крила“. Такође, у оквиру овог поглавља, размотрени су и проблеми при спровођењу нумеричких симулација просторног турбулентног течења у тунелима. Коначно,

анализиран је и додатни аспект примене изведених мерних система са циљем детекције отвора у небетонираним сегментима тунела Фатничко поље – Билећка акумулација.

Седмо, завршно поглавље садржи синтезу закључака свих претходних поглавља, уз критички осврт на испуњење постављених истраживачких задатака и предлоге за наставак истраживања приказаног у дисертацији.

3. ОЦЕНА ДИСЕРТАЦИЈЕ

3.1. Савременост и оригиналност

Димензионисање већине хидротехничких објеката и система се врши према протоку. Поред тога и за само управљање хидротехничким системима, неопходно је користити поуздане податке о протоку добијене у реалном времену. Према оквирној директиви о водама, дефинисаној од стране Европске комисије (2000), основни циљ комуналних предузећа, чија је делатност управљање и одржавање водних ресурса, је процена протока воде и масе полутаната која се испушта у водна тела. Међутим, традиционално је управо податак о протоку најтеже измерити или одредити, посебно у сложеним условима струјања какви се јављају у канализационим системима. Упркос чињеници да су данас доступне мерне технологије значајно унапређене последњих деценија и даље је велика количина измерених података о протоку окарактерисана високом мерном неодређеношћу.

Уобичајено је да се у сложеним условима струјања мерење протока спроводи преко приступа Брзина – Протицајни пресек. Тренутно се у канализационим системима, као и осталим случајевима појаве сложених услова струјања, за одређивање средње профилске брзине најчешће користе ултразвучни уређаји или уређаји чији се принцип рада заснива на Доплеровом ефекту. Кључни проблеми који се сусрећу са применом ових сензора су рад при малим брзинама или дубинама, седиментација наноса преко кућишта сензора и високе или ниске концентрације суспендованих честица. У овој дисертацији је анализирана могућност употребе алтернативне мерне технологије, односно електромагнетних сензора чији се принцип рада заснива на Фарадејевом закону индукције.

Иако идеја о мерењу брзине помоћу електромагнетних сензора потиче из 19. века, до данас у хидротехници електромагнетни сензори су постали популарни једино у условима течења под притиском. Бројна решења ЕМ сензора су предложена за примену у отвореним токовима, међутим ниједно није достигло значајнију популарност. Овде је анализирана могућност употребе локалних равних ЕМ сензора, домаћег произвођача „Свет инструмената“. Прегледом литературе је установљено да су изузетно ретка систематска истраживања локалних ЕМ сензора, у чему се управо и огледа оригиналност ове дисертације.

Кроз приказана систематска истраживања, идентификоване су предности анализираних равних ЕМ сензора у односу на алтернативне Доплер сензоре. Даље, кроз предлог упрошћеног математичког модела равних ЕМ сензора, као и методологију за локалну калибрацију сензора омогућено је додатно унапређење поузданости измерене средње профилске брзине као и протока. Кроз развој математичког модела и методологије за локалну калибрацију, приказана је савременост истраживања, будући да се на овај начин омогућава адаптирање мерних система према условима који владају на сваком поједином мерном месту. Такође, додатну вредност истраживања представља и чињеница да су резултати већ примењени у пракси на три мерна места изведена у оквиру деривационих тунела хидроенергетског система „Хидроелектране на Требишњици“ као и да су се анализирани ЕМ сензори протока почели користити у Београдској канализацији.

3.2. Осврт на референтну и коришћену литературу

У оквиру ове дисертације цитиране су укупно 159 библиографске јединице, објављене у периоду од 1832. г. до 2018. г. Највећи број референци је новијег датума: 111 референци је публиковано након 2000. године од чега је 53 у периоду после 2010. године. Кандидат је кроз преглед литературе обухватио најважније ауторе и публикације из области мерења брзине и протока у отвореним токовима, са посебним фокусом на мерењима у канализационим системима. Већину референци чине радови објављени у референтним, врхунским међународним часописима, пре свега у Flow Measurement & Instrumentation, Journal of Hydrology, Journal of Hydraulic Engineering, Water Science & Technology, Journal of Hydraulic Research и Urban Water Journal.

3.3. Опис и адекватност примењених научних метода

У оквиру истраживања приказаног у овој дисертацији, спроведена су систематска лабораторијска мерења протока, дубине воде, дубине седимента, средње профилске брзине као и брзине у тачки. Поред лабораторијских, за потребе истраживања, спроведена су и анализирана мерења брзине, дубине и протока у теренским условима. Обраду добијених података и одговарајући приказ, кандидат је самостално спровео развијајући неопходне алате у програмском језику Matlab.

Поред мерења хидротехничких величина, изведена су систематска лабораторијска мерења магнетног поља као и импедансе између електрода равних ЕМ сензора. За обраду измерених вредности магнетног поља, кандидат је користио алгоритме неуралних мрежа, док је графички приказ резултата дефинисан кроз пакете Matlab и ParaFOAM.

За потребе еталонирања мерне неодређености, кандидат је користио статистичке анализе, према препорукама из GUM-а (2008). Такође, развијен је и линеарни регресиони модел за корекцију сигнала, на основу измерене дубине седимента, у случају рада под покривком од порозног седимента.

У дисертацији је приказан развој упрошћеног математичког модела равних ЕМ сензора, на основу закључака изведених из лабораторијских експеримената. Предложена је експериментална методологија за дефинисање техничких параметара равних ЕМ сензора, неопходних за примену упрошћеног модела сензора. На основу експерименталних резултата, формулисан је оптимизациони (минимизациони) проблем чијим решавањем се долази до тражених резултата.

Предложена методологија за локалну калибрацију равних ЕМ сензора, примењена је на изведеним мерним местима, где су за симулацију распореда брзина, у оквиру контролне запреmine, коришћење нумеричке симулације просторног турбулентног течења. Нумеричко моделирање је спроведено применом метода коначних запремина, имплементираних у слободном програмском пакету OpenFOAM.

3.4. Применљивост остварених резултата

Резултати испитивања радних карактеристика равних ЕМ сензора омогућавају дефинисање оквира за упоређивање различитих мерних технологија са аспекта тачности, поновљивости и робусности. Употреба линеарног регресионог модела за корекцију сигнала у условима седиментације кућишта сензора, поседује висок потенцијал за примену у условима рада ових сензора у канализационим системима. Смањење неодређености измерених података о протоку, као и могућност континуалног мерења у неповољним условима, је веома битна са аспекта управљања комуналним системима за канализацију урбаних средина, као и осталих хидротехничких система где се јављају сложени услови струјања. Такође, са аспекта оквирне директиве о водама, резултати истраживања

управо подржавају испуњавање основног циља надлежних комуналних предузећа, у процени протока воде и протока масе полутаната у водна тела.

Анализа радног принципа равних ЕМ сензора, као и дефинисање методологије за одређивање неопходних техничких параметара, омогућава како корисницима тако и произвођачима ових сензора, подлогу за међусобно поређење и анализу уређаја сличних карактеристика. На овај начин, потенцијално се омогућава даља популаризација ове мерне технологије у хидротехници.

У дисертацији је приказано да су упрошћени математички модел равних ЕМ сензора и предложена методологија за локалну калибрацију сензора већ примењени за потребе пројектовања три изведена мерна места у оквиру хидроенергетског система „Хидроелектране на Требишњици“. Имајући у виду да су употребом добијених резултата истраживања обезбеђена поузданија мерења протока у приказаним деривационим тунелима, као и да су применом ЕМ сензора у Београдској канализацији формирана поуздана мерна места у последњих две године, може се констатовати да добијени резултати истраживања свакако поседују значајну применљивост. Посебан вредност дисертације се односи на успешну сарадњу са домаћим произвођачем ЕМ сонди, чиме је кроз научно-истраживачки рад формиран компетитиван домаћи производ.

3.5. Оцена достигнутих способности кандидата за самостални научни рад

Током похађања докторских студија, кандидат је остварио способност за самосталан научно-истраживачки рад кроз полагање испита, публикавање научних радова, учешћа на најзначајнијим међународним конференцијама из области истраживања и припрему и израду дисертације. Кандидат се у оквиру своје докторске дисертације бавио изучавањем и критичком анализом доступне референтне литературе, експерименталним радом у лабораторијским и теренским условима, статистичким анализама, нумеричким моделирањем просторног турбулентног течења, развојем упрошењог математичког модела као и методологија за корекцију сигнала, дефинисање техничких параметара и локалну калибрацију равних ЕМ сензора. Кандидат је успешно критички усвојио нова знања и, кроз самостални научни рад, показао способност сагледавања проблема и формулисања хипотеза, затим осмишљавања поступка за тестирање постављених хипотеза, као и одабира адекватних метода и техника које би при томе требало користити. Евидентно је да је кандидат Дамјан Иветић, приступом истраживачком проблему и начином решавања постављених задатака, показао способност за самосталан научно-истраживачки рад.

4. ОСТВАРЕНИ НАУЧНИ ДОПРИНОС

4.1. Приказ остварених научних доприноса

Вредност истраживања приказаног у дисертацији огледа се у обезбеђењу следећих научних доприноса, потврђених приказаним резултатима :

- Систематизација досадашњих знања о предмету истраживања
- Еталонирање мерне неодређености брзине измерене помоћу равних ЕМ сензора, омогућава упоредну анализу радних карактеристика са осталим комерцијалним решењима за мерење брзине течности у сложеним условима струјања.
- Радни оквир за употребу равних ЕМ сензора у условима седиментације наноса преко кућишта сензора, као и методологије за одређивање неопходног линеарног регресионог модела. Капацитет равних ЕМ сензора за употребу у условима седиментације наноса представља изузетну вредност са аспекта примене у канализационим системима.

- Развој методологије, на бази алгоритма неуралних мрежа, за обраду резултата мерења магнетног поља код ЕМ сензора са пулсном биполарном побудом.
- Нови упрошћени математички модел радног принципа равних ЕМ сензора, којим се рад сензора описује помоћу два техничка параметра, тежинске функције и домета контролне запремине. Радни принцип ЕМ сензора се фундаментално описује сложеним математичким моделом. Предложеним упрошћењем омогућава се примена додатних анализа за унапређење поузданости протока, као што је локална калибрација сензора.
- Развој експерименталне методологије за дефинисање техничких параметара равних ЕМ сензора. Предложена методологија се може применити на свим локалним ЕМ сензорима који се монтирају на дно или зидове проводника.
- Развој методологије за локалну калибрацију равних ЕМ сензора. Локална калибрација омогућава унапређење поузданости измерене средње профилске брзине и протока, употребом модерних нумеричких алата за симулацију турбулентног течења у спрези са упрошћеним математичким моделом равних ЕМ сензора.

4.2. Критичка анализа резултата истраживања

Прегледом референтне литературе јасно је идентификована мотивација за представљено истраживање. Свеобухватно је објашњен предмет истраживања, дефинисан јасним циљевима. Током истраживања, равни ЕМ сензори домаћег произвођача „Свет инструмената“ су систематски испитани са аспекта основних радних карактеристика, тачности и поновљивости. Такође, анализиран је и аспект робусности, меродаван за примену у канализационим системима, где неретко може доћи до седиментације наноса, као и пластичних кеса преко кућишта сензора. Показано је да ови сензори свакако поседују значајне предности у односу на конкуретне Доплер сензоре. Посебно је интересантан закључак кандидата да фабричка калибрација према ISO 3455 стандарду није адекватна за равне ЕМ сензоре, која може бити од велике користи самим произвођачима мерне опреме. Дефинисање радног оквира за рад у условима седиментације представља значајан резултат за пројектанте мерних места у канализационим системима, као и надлежна комунална предузећа. Теренска испитивања и верификација радног оквира за употребу равних ЕМ сензора у условима седиментације, су неопходна у наставку истраживања.

Детаљна испитивања радног принципа равних ЕМ сензора, која су укључила систематска мапирања магнетног поља, као и развој и примену одговарајуће методологије за обраду резултата, су обезбедила додатне информације неопходне за даља унапређења примене ове мерне технологије. Са друге стране, предложени упрошћени математички модел равних ЕМ сензора је омогућио далеко једноставнију интерпретацију одзива ових уређаја. Уз експерименталну методологију за дефинисање техничких параметара сензора, неопходних за примену упрошћеног математичког модела, обезбеђена је основа за употребу напреднијих анализа са циљем унапређења поузданости мерења средње профилске брзине и протока. Даља истраживања су неопходна за испитивање могућности употребе мерења само магнетног поља за дефинисање техничких параметара, са циљем унапређења ефикасности процедуре.

У складу са употребом напредних анализа кандидат је, у дисертацији, предложио методологију за употребу локалне калибрације равних ЕМ сензора у реалним практичним примерима при чему је кандидат спровео и теренску верификацију. Кроз теренско испитивање, уочено је да се предложеном методологијом за локалну калибрацију остварује унапређење у поузданости мерења протока. Међутим, такође идентификовано је да се локалном калибрацијом, у предложеној форми, не могу обухватити ефекти неустаљености тока на мерења сензора. Поред тога, констатовано је да је примена нумеричких симулација просторног турбулентног течења за дефинисање распореда брзина на мерном месту која је популарна у последње време, заправо недоступна просечним инжењерима у пракси због високог компјутерског оптерећења које изискују симулације са великим Рејнолдсовим бројевима.

4.3. Верификација научних доприноса

У оквиру овог истраживања кандидат је објавио 1 рад у часопису са SCI листе, 2 рада у часописима од националног значаја, 3 рада је изложио на међународним научним скуповима и 3 рада на националном научном скупу:

Категорија M21 A – Међународни часопис изузетних вредности:

Ivetić, D., D. Prodanović & L. Stojadinović (2018). *Bed-mounted Electro Magnetic meters: Implications for robust velocity measurement in Urban Drainage systems.* Journal of Hydrology, 566, 455-469, DOI: 10.1016/j.jhydrol.2018.08.068.

Категорија M33 – Међународни научни скупови:

Ivetić, D., D. Prodanović & L. Stojadinovic (2018). *Electro-Magnetic Velocity Meters: Assessment of the (Missing) Technical Parameters.* In: International Conference on Urban Drainage Modelling, 27-30.9.2018, Palermo (Italy).

Ivetić, D., D. Prodanović & M. Cvitkovic (2017). *Improved flow measurement using EM flat probes in mixed flow conditions.* In: 14th IWA/IAHR International conference on Urban Drainage, 10-15.9.2017, Prague (Czech Republic).

Ivetić, D., D. Prodanović & M. Cvitkovic (2017). *Improvement of EM flowmeter's accuracy through site-specific CFD calibration – case study HPS Trebinje.* In: 9th IWA Eastern European Young Water Professionals Conference, 10-15.5.2017, Budapest (Hungary).

Категорија M51 – Врхунски часописи националног значаја:

Иветић, Д., Д. Продановић, Л. Стојадиновић & М. Цвитковац (2017). *Унапређење методологије мерења протока помоћу равних електромагнетних сензора брзине.* Водопривреда, 285-287 (4-6), 41–46.

Иветић, Д., Ј. Ђорђевић & Д. Продановић (2016). *Аспекти мерења брзине воде акустичном Доплер анемометријом.* Водопривреда, 282-284 (4-6), 181–190.

Категорија M63 – Национални научни скупови:

Иветић, Д., Д. Продановић & М. Цвитковац (2018). *Мерење протока у великим проводницима при комбинованим условима течења – пример ХЕС Требиње.* 18. саветовање СДХИ и СДХ, Ниш, 25-26. октобар 2018. Грађевински факултет Универзитета у Београду.

Иветић, Д., Д. Продановић & Л. Стојадиновић (2018). *Лабораторијско одређивање мерне неодређености равних ЕМ сензора.* 18. саветовање СДХИ и СДХ, Ниш, 25-26. октобар 2018. Грађевински факултет Универзитета у Београду.

Стојадиновић, Л., Д. Иветић & Д. Продановић (2018). *Лабораторијско испитивање магнетног поља равних ЕМ сензора.* 18. саветовање СДХИ и СДХ, Ниш, 25-26. октобар 2018. Грађевински факултет Универзитета у Београду.

5. ЗАКЉУЧАК И ПРЕДЛОГ

У докторској дисертацији под насловом „Одређивање протока течности у сложеним условима струјања применом равних електромагнетних сензора“ систематски су испитане радне карактеристике равних ЕМ сензора, домаћег произвођача „Свет инструмената“ и развијене су и представљене оригиналне методологије намењене за унапређење поузданости одређивања протока у сложеним условима струјања. Развијена је методологија за дефинисање линеарног регресионог модела за корекцију излазног сигнала у условима седиментације наноса преко кућишта сензора, чиме је успостављен радни оквир за примену ових сензора за континуално мерење средње профилске брзине у канализационим системима. У оквиру анализе радног принципа равних ЕМ

сензора, предложена је методологија за обраду измерених вредности магнетног поља индукованих пулсном биполарном побудном струјом. Предложени упрошћени математички модел заједно са експерименталном методологијом за одређивање техничких параметара ЕМ сензора представља вредан научни допринос у пољу мерења протока у сложеним условима струјања. У дисертацији је предложена и верификована у теренским условима методологија за локалну калибрацију равних ЕМ сензора, која омогућава примену напреднијих нумеричких алата у циљу унапређења поузданости измереног протока. Представљеним резултатима остварен је веома вредан научни допринос у области Механике нестишљивих флуида и Хидраулике. Практична примењивост научних резултата истраживања је приказана кроз имплементацију на мерним местима пројектованим и изведеним у оквиру послова сарадње Грађевинског факултета са привредом.

Научна вредност рада је доказана кроз публикавање 1 рада у часопису са SCI листе (категорија M21A), 2 рада у часописима од националног значаја, 3 рада на међународним научним скуповима и 3 рада на националним научним скуповима. Током израде ове дисертације, кандидат Дамјан Иветић, маг.инж.грађ. је показао да поседује квалитете неопходне за самосталан научни рад, пре свега са аспекта спровођења експерименталних истраживања, критичког сагледавања референтне литературе као и синтезе резултата на јасан, систематичан и концизан начин.

На основу изнетог, Комисија констатује да докторска дисертацији под насловом „Одређивање протока течности у сложеним условима струјања применом равних електромагнетних сензора“ представља оригиналан и значајан научни допринос у области Механике флуида и хидраулике. Услед напред наведеног, Комисија предлаже Наставно-научном већу Грађевинског факултета Универзитета у Београду да прихвати позитивну оцену докторске дисертације кандидата Дамјана Иветића, маг. инж. грађ., и да, сходно томе, упути захтев Већу научних области грађевинско-урбанистичких наука Универзитета у Београду за давање сагласности са јавну одбрану дисертације.

ЧЛАНОВИ КОМИСИЈЕ

проф. др Душан Продановић, дипл. инж. грађ. (ментор)
(Грађевински факултет, Универзитет у Београду)

проф. др Милан Лечић, дипл. инж. маш.
(Машински факултет, Универзитет у Београду)

в. проф. др Ана Мијић, дипл. инж. грађ.
(Империјал Колец Лондон, Велика Британија)

в. проф. др Љиљана Брајовић, дипл. инж. еле.
(Грађевински факултет, Универзитет у Београду)

в. проф. др Ненад Јаћимовић, дипл. инж. грађ.
(Грађевински факултет, Универзитет у Београду)
